

THESIS

MUNICH

1966

LANE MEDICAL LIBRARY  
STANFORD UNIVERSITY  
300 PASTEUR DRIVE  
PALO ALTO, CALIF.  
~~PALO ALTO, CALIF.~~

SPIROERGOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN BEI MÄNNERN  
IM ALTER VON 40 - 59 JAHREN.  
EIN VERGLEICH ZWISCHEN NORMALPERSONEN UND  
SPORTLERN.

Alfred Wittenborg





Digitized by the Internet Archive  
in 2026



Aus dem Institut für Prophylaxe der Kreislaufkrankheiten bei der  
Universität München  
Direktor (Vorstand): Prof. Dr. G. Schimert

---

SPIROERGOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN BEI MÄNNERN IM ALTER  
von 40 - 59 JAHREN.  
EIN VERGLEICH ZWISCHEN NORMALPERSONEN UND SPORTLERN.

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin  
verfaßt und  
einer Hohen Medizinischen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Alfred Wittenborg  
aus Hamm(Westf.)

München 1966

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München.

Berichterstatter: Professor Dr. G. SCHIMERT

Dekan: Professor Dr. Dr. R. ZENKER

Tag der mündlichen Prüfung: 19.4.1966

## Meiner Mutter



## INHALTSVERZEICHNIS

### A. EINLEITUNG

### B. UNTERSUCHUNGSGUT

### C. METHODIK

### D. ERGEBNISSE

Sauerstoffaufnahme, Pulsfrequenz, Sauerstoffpuls und  
Herzvolumen bei

1. Normalpersonen

2. Sportlern

3. Normalpersonen und Sportlern unter Berücksichtigung des  
Körpergewichtes und der Körpergröße.

4. Sportlern verschiedener Trainingsarten

### E. DISKUSSION

### F. ZUSAMMENFASSUNG

### G. ABBILDUNGEN

### H. LITERATURVERZEICHNIS



## A. EINLEITUNG

Herz- und Kreislauffunktion älterer Sportler ist von einigen Ausnahmen abgesehen noch wenig erforscht worden (ROSKAMM, REINDELL u. a., 29; HOLMGREN u. STRANDELL, 11; FREY u. CONDRAU, 6; MELLEROWICZ, 20; HOLLMANN, 10; BOGER, 5). Die Sportmedizin hat sich vorwiegend mit den jungen Aktiven befaßt. Es scheint uns jedoch nicht unwesentlich, zu untersuchen, welche Rückwirkung der Sport im Alter in Bezug auf Herz und Kreislauffunktion hat.

Eine wichtige Funktionsprüfung dieser Faktoren ist die von KNIPPING (17) und seinem Arbeitskreis eingeführte Spiroergometrie, die uns gestattet, über Leistungsbreite, Belastungsgrenzen, sowie über eine mögliche Gefährdung von Herz und Kreislauf durch körperliche Belastung Auskunft zu geben. KNIPPING (17) verwandte die maximale Sauerstoffaufnahme als Maß für die Leistungsfähigkeit. Diese wird aber nicht durch Herz und Kreislauf allein, sondern weitgehend von der Atmung bzw. der Lungenfunktion, der Muskulatur und vom Willen des Patienten bestimmt. Man kann also nicht von der Höhe der maximalen  $O_2$ -Aufnahme auf den Zustand einer der Faktoren schließen, da ein anderer oder mehrere schon leistungsbegrenzend wirken können.

Weiter hilft da die Messung der Pulsfrequenz, besonders dann, wenn man sie mit dem Herzvolumen vergleicht. Dabei stellte sich heraus, daß Herzvolumen und Pulsfrequenz sich im allgemeinen umgekehrt proportional verhalten, wenn nicht irgendwelche pathologischen Veränderungen vorliegen.

Der von LYTHOGE u. PEREIRA 1925 (19) eingeführte Sauerstoffpuls ermöglicht eine weitere Aussage über die Leistungsfähigkeit. Man setzt bei diesem die  $O_2$ -Aufnahme zur Pulsfrequenz in Beziehung. Man ermittelt also die ccm  $O_2$ -Aufnahme pro Pulsschlag. Diese beiden Faktoren geben Auskunft über Herz und Kreislauffunktion.

Betrachtet man dazu noch das Herzvolumen, so ergab sich, daß die Beziehungen zwischen diesem und den Körpermaßen in den verschiedenen Lebensaltern (KJELLBERG, RUHDE, SJÖSTRAND, 15) und bei den einzelnen Konstitutionstypen (KAHLSTORF, 12; BJÖRCK, 4) oft sehr weite Korrelationen aufweisen. Es lag also nahe, nach einer Beziehung zwischen Herzvolumen und den obenangeführten Leistungsfaktoren zu suchen. KJELLBERG, RUHDE, SJÖSTRAND, 15, verwandten die Pulsfrequenz, im Arbeitskreis von REINDELL (26, 30) untersuchte man das Verhältnis zwischen Herzvolumen und Pulsfrequenz sowie  $O_2$ -Aufnahme und  $O_2$ -Puls, wobei sich die engste Beziehung, also eine Aussage über das Leistungsvermögen des Herzens und des Kreislaufs zwischen Herzvolumen und maximal im steady-state erreichtem Sauerstoffpuls ergab.

In dieser Arbeit soll nun untersucht werden:

1. inwieweit sich körperlich gesunde untrainierte Männer von sportlich trainierten im Alter von 40 bis 59 Jahren unterscheiden.
2. welchen Einfluß Körpergröße und Gewicht bei beiden Gruppen ausüben und
3. welchen Unterschied verschiedene Trainingsbedingungen bei den älteren Sportlern bewirken.

## B. UNTERSUCHUNGSGUT

Das ausgewertete Untersuchungsgut der Arbeit umfaßt 143 männliche Personen im Alter von 40 bis 59 Jahren. Von diesen gehören 80 der Gruppe der körperlich gesunden Untrainierten, die anderen 63 der Gruppe der körperlich gesunden, aber sportlich Tätigen an. Jede dieser beiden Gruppen wurde dekadisch in zwei Untergruppen geteilt:

### N. Normalperson

I: 40 - 49 Jahre (n = 49)

II: 50 - 59 Jahre (n = 31)

### S. Sportler

III: 40 - 49 Jahre (n = 37)

IV: 50 - 59 Jahre (n = 26)

Die Gruppe der Untrainierten setzt sich aus Personen verschiedener Berufe zusammen, wobei das Hauptgewicht der Tätigkeit mehr auf einer geistigen als auf einer körperlichen Anspannung lag. Es waren hauptsächlich leitende Angestellte und selbständige Unternehmer, bei den 40 - 49jährigen stammen etwa 70 % aus gehobenen Dienstgraden der Bundeswehr. Regelmäßige körperliche Anstrengung sowie sportliche Betätigung wurden von keinem der Untersuchten verrichtet.

Die Gruppe der Trainierten weist die gleiche Schichtung der Berufsgruppen auf mit Ausnahme der Bundeswehrsoldaten, für die wir aber keine Besonderheiten der Lebensweise gegenüber den anderen Berufen feststellen konnten. Als Mindestmaß einer sportlichen Betätigung wurden wenigstens zwei Wochenstunden verlangt. Die größte Anzahl der Untersuchten lag dabei weit über diesem Minimum an Zeitaufwand für "ihren" Sport, der sich von Gymnastik, Turnen, Faust- und Fuß- und Handball, Tennis, Schwimmen, Leichtathletik, Radfahren, Sportkegeln und Tanzen bis zu den vornehmlich am Wochenende vorgenommenen Bergwanderungen und Schifahren erstreckte.

Ausgesprochener Hochleistungssport wurde früher nur von fünf der Untersuchten verrichtet, alle anderen hatten aber in ihrer Jugend Leistungssport getrieben. Zwei der Probanden leisten auch heute noch wettkapfmäßig Spitzensport (Schilanglauf).

Bei den sportlich trainierten Männern wurde außerdem noch die Gruppe der Personen mit Ausdauerleistungen (Laufen, Tennis-, Ballspiele), n = 18, von der Gruppe der Personen ohne Ausdauerleistungen (Gymnastik, Turnen, Sportkegeln), n = 15, getrennt. Die geringe Anzahl ergibt sich dadurch, daß nur solche Personen verwandt wurden, die sich ausschließlich in eine dieser beiden Einteilungen einordnen ließen.

Aus den Gruppen I - IV wurden dann noch die adipösen Personen herausgesucht.

Als Maß für die Grenze Norm-Übergewicht verwandten wir nach einer Tabelle des Life Extension Institute of New York in den Geigy-Tabellen 1953 das Gewicht von Personen mit schwerem Knochenbau. Eine Überschreitung dieses Gewichtes bedeutete Einreihung in die Kategorie der Übergewichtigen. Für die einzelnen Gruppen ermittelten wir folgende Anzahl von Adipösen:

|      |         |        |                       |
|------|---------|--------|-----------------------|
| I:   | 20 (A)  | von 49 | A = Adipöse           |
| II:  | 14 (A)  | von 31 |                       |
| III: | 15 (AS) | von 37 | AS = Adipöse Sportler |
| IV:  | 12 (AS) | von 26 |                       |

Eine weitere Unterteilung der Gruppen N und S ergab sich durch eine Aufschlüsselung der Versuchspersonen bezüglich der Körpergröße. Wir setzten zwei Grenzen, nämlich 171 und 179 cm, so daß drei Gruppen verschiedener Körpergröße jeweils für Normpersonen und Sportler ermittelt wurden:

|    | 1. $< 171$ | 2. 171 - 179 | 3. $> 179$ |
|----|------------|--------------|------------|
| N: | 18         | 47           | 15         |
| S: | 14         | 30           | 19         |

## C. METHODIK

Bei allen Personen wurde das Körpergewicht und die Körpergröße bestimmt, sowie eine röntgenologische Volumenbestimmung des Herzens, eine EKG-Untersuchung und eine spiographische und spiroergometrische Leistungsprüfung vorgenommen. Die Fälle mit pathologisch klinischen, elektrokardiographischen und röntgenologischen Befunden wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt.

Die Volumenbestimmung des Herzens erfolgte durch Herrn Dr. EBERL, der sie uns freundlicherweise zu Vergleichszwecken überließ. Es wurden eine kymographische Transversal- und Sagittalaufnahme vorgenommen. Die Auswertung erfolgte nach einer Formel, die von ROHRER (28) und KAHLSTORF (13, 14) entwickelt und von REINDELL und MUSSHOF (22) für die Fernaufnahme modifiziert wurde. Die für unsere Bedingungen veränderte Gleichung lautet:

$$V = 0,32 \cdot l \cdot b \cdot t_{\max}$$

$l$  = Längsdurchmesser

$b$  = Breitendurchmesser

$t_{\max}$  = größter Tiefendurchmesser

Die Aufnahmen wurden im Liegen in Inspirationsstellung durchgeführt.

Die EKG-Untersuchung beschränkte sich auf die Extremitätenableitungen, sowie die der Brustwand, nämlich  $V_2$ ,  $V_4$  und  $V_6$ . Dies geschah in Ruhe und unmittelbar nach jeder Belastungsstufe.

Die spiographischen und spiroergometrischen Untersuchungen wurden an einem Stoffwechselapparat nach KNIPPING mit geschlossenem Kreislauf durchgeführt. Er besteht aus einem Spirometer, einer Pumpe, die 250 l Luft bzw. Sauerstoff pro Minute durch das System zu treiben vermag, einem Kalkabsorber, der eine fast 100 %ige Auswaschung der Kohlensäure ermöglicht, einer Gesichtsmaske für den Patienten, einer Spirometerglocke, die die Volumveränderung im System anzeigt und diese über einen Glaskapillarschreiber auf ein geeichtes Registrierpapier überträgt und einem  $O_2$ -Stabilisator, der eine gleichmäßige Sauerstoffkonzentration der Systemluft garantiert. Der in dieses System eingeschaltete Patient entnimmt diesem ständig Sauerstoff. Die ausgeatmete  $CO_2$  wird praktisch quantitativ gebunden. Das Absinken der Spirometerglocke entspricht volumetrisch dem  $O_2$ -Verlust des Systems. Aus dem Anstieg der Atemkurve in der Zeiteinheit ergibt sich die vom Probanden aufgenommene  $O_2$ -Menge in ccm/min.

Als meßbare und reproduzierbare körperliche Arbeit wurde Tretkurbelarbeit im Liegen geleistet. Wir verwandten hierzu ein "Lannoy"-Wirbelstromergometer der

Firma LODE. Die Tretgeschwindigkeit lag bis zu 100 Watt bei 35 Umdrehungen/min., bis zu 159 Watt bei 40 U/min und ab 160 Watt bei 45 U/min. Die Untersuchung erfolgte morgens, in etwa 70 % der Fälle, oder am frühen Nachmittag. Vor Beginn der Arbeit wurde zuerst eine Ruhespirometriemessung vorgenommen, wobei  $O_2$ -Aufnahme, Atemzeitquotient, Vitalkapazität, Atemstoß und Atemgrenzwert bestimmt wurden. In Ruhe und auch während jeder Belastung wurden noch Pulsfrequenzen und Blutdruckwerte gemessen sowie ein EKG aufgezeichnet.

Sämtliche Personen wurden dann nach dem "steady-state-Prinzip", einer stufenweise bis zur Leistungsgrenze gesteigerten Belastung untersucht, die mit 80 Watt begann und jeweils um 40 Watt gesteigert wurde. In einzelnen Fällen betrug die Steigerung in höheren Belastungsstufen nur 20 Watt.

HILL definierte den Begriff des "steady-state", welches eine Stabilität der Funktion im Organismus darstellt. Diese Stabilität galt als gegeben, wenn bei jeder Belastungsstufe die Werte für  $O_2$ -Aufnahme, Atemminutenvolumen und Pulsfrequenz für etwa 3 Minuten einen konstanten Wert aufwiesen. Dies geschah nach etwa 2 - 3 Minuten der Anpassung an die geforderte Belastungsstufe, so daß sich eine Belastungsdauer von 5 - 6 Min. je Arbeitsstufe ergab. Eine Änderung über 6 Schläge/min. wurde nicht mehr berücksichtigt. Diese zeitliche Begrenzung des "steady-state", von BENGTON (3) 1956 als "relativen steady-state" bezeichnet, ist nötig, da sonst die Ermüdungsprozesse schon auf geringen Belastungsstufen zum Abbruch der Arbeit führen würden, so daß man über die vorhandenen Leistungsreserven keine Auskunft gewinnen könnte. Die Arbeit wurde in den meisten Fällen von den Versuchspersonen wegen Ermüdung eingestellt, die anderen Fälle wegen stetigem Ansteigen von  $O_2$ -Aufnahme, Pulsfrequenz und Atemminutenvolumen abgebrochen.

Als Kriterium maximaler "steady-state"-Leistung verlangten wir für die 40 - 49jährigen eine Mindestpulsfrequenz von 136/min., für die 50 - 59jährigen 128/min. Diese Frequenzen stellen Mittelwerte dar, die in den jeweiligen Altersgruppen von Personen gewonnen wurden, die schon auf submaximalen Arbeitsstufen ihren maximalen  $O_2$ -Puls erreichten. Die Mindestpulsfrequenz für maximale "steady-state"-Leistung liegen bei KÖNIG, REINDELL u. a. mit 120 und 110/min für dieses Alter wesentlich niedriger.

An statistischen Methoden wurden angewandt:

Der Mittelwert  $\bar{x}$ , und die mittlere quadratische Abweichung s. Zur Berechnung der Unterschiede zweier Mittelwertreihen verwandten wir die t-Verteilung und berechneten daraus die Signifikanz, wobei wir eine Zufallswahrscheinlichkeit von P zwischen 0,05 - 0,01 als wahrscheinlich signifikant (+), von P zwischen 0,01 und 0,001 als signifikant (++) und von P kleiner 0,001 als hochsignifikant (+++) bezeichneten.

## D. ERGEBNISSE

Um die beiden Gruppen der Nichtsportler und Sportler auf Unterschiede untersuchen zu können, muß auf die Vergleichbarkeit bezüglich des Alters, der Körpergröße und des Gewichtes geachtet werden. Wir fanden:

|            |          | S:         | N:         |
|------------|----------|------------|------------|
| 40 - 49 J. | Alter:   | 43,8 Jahre | 42,6 Jahre |
|            | Gewicht: | 80,3 kg    | 80,0 kg    |
|            | Größe:   | 175,8 cm   | 178,1 cm   |
| 50 - 59 J. | Alter    | 53,4 Jahre | 54,0 Jahre |
|            | Gewicht: | 79,8 kg    | 75,5 kg    |
|            | Größe    | 175,0 cm   | 174,2 cm   |

Auffällige Unterschiede ergaben sich hierbei nicht. Während die Mittelwerte von Alter und Gewicht bei den 40 - 49jährigen annähernd gleich sind, sind sie für die Körpergröße geringfügig verschieden.

Bei den 50 - 59jährigen finden wir die Werte für Alter und Größe gleich, dagegen weicht das des Gewichtes beider Gruppen voneinander ab.

Das ergibt unter Berücksichtigung der Beziehung Körpergröße - Körpergewicht in beiden Altersklassen einen geringen Unterschied dahin, daß das Gesamtgut der Sportler leicht übergewichtig ist, während die Nichtsportler noch normalgewichtig sind. Diese Diskrepanz ist aber nicht wesentlich und stellt keine Einschränkung der Vergleichbarkeit dar, da Übergewicht bei Ergometerarbeit keinesfalls eine Minderung der Leistung bewirken muß, worauf später noch weiter eingegangen wird.

Ehe auf die eventuellen Unterschiede der einzelnen Meßgrößen eingegangen wird, möchten wir noch einen wesentlichen Punkt herausstellen, der für alle weiteren Besprechungen Gültigkeit hat, nämlich das unterschiedliche Leistungsvermögen zwischen Sportlern und Nichtsportlern bezogen auf die Belastungsstufe, die noch von ihnen im "steady-state" geschafft wurde.

Die Ruhe-, 80- und 120 Wattwerte konnten für alle bestimmt werden. 160 und erst recht 200 Watt leisteten aber nicht mehr alle Probanden.

Von den 40 - 49jährigen Normalen erreichten noch 93,8 % die 160 und 24,5 %

die 200 Wattstufe, während von den gleichaltrigen Sportlern 94,6 % 160 aber 51,3 % 200 Watt leisteten. Von den älteren Nichtsportlern schafften noch 61,3 % die 160, aber keiner mehr die 200 Watt, die Sportler dagegen waren bei 160 noch mit 80,7 % und bei 200 Watt sogar noch mit 38,4 % dabei vertreten. Setzt man also das Leistungsvermögen mit der noch im "steady-state" erreichten Wattstufe gleich, so ergibt sich einerseits ein deutlicher Unterschied in der Anzahl der Personen, die noch 200 Watt zu leisten imstande waren, andererseits sind die Unterschiede bei 160 Watt bei den jüngeren praktisch gleich Null, bei den älteren aber fast 20 %.

Tab. 1: Sauerstoffaufnahme bei Normalpersonen (N) und Sportlern (S) in Ruhe und während Belastung.

Mittelwert  $\bar{x}$  und Streuung s

|            |           | Ruhe  | 80 W   | 120 W  | 160 W  | 200 W  |
|------------|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|
|            | $\bar{x}$ | 266   | 1221   | 1587   | 1963   | 2259   |
| N. I.      | n         | 49    | 49     | 49     | 46     | 12     |
| 40 - 49 J. | s         | 55,79 | 80,21  | 105,46 | 144,02 | 146,76 |
|            | $\bar{x}$ | 301   | 1220   | 1585   | 1982   | 2324   |
| S. III.    | n         | 37    | 37     | 37     | 35     | 19     |
| 40 - 49 J. | s         | 61,70 | 105,62 | 111,81 | 136,17 | 155,57 |
|            | $\bar{x}$ | 257   | 1191   | 1562   | 1893   |        |
| N. II.     | n         | 31    | 31     | 31     | 19     |        |
| 50 - 59 J. | s         | 59,71 | 86,03  | 95,40  | 179,23 |        |
|            | $\bar{x}$ | 281   | 1185   | 1589   | 1964   | 2341   |
| S. IV.     | n         | 26    | 26     | 26     | 21     | 10     |
| 50 - 59 J. | s         | 66,12 | 73,30  | 112,83 | 173,27 | 242,14 |

Tab. 2: Pulsfrequenz bei Normalpersonen (N) und Sportlern (S) in Ruhe und während Belastung.

Mittelwert  $\bar{x}$ , Streuung s, t - Verteilung und Signifikanz

|                       |           | Ruhe  | 80 W  | 120 W | 160 W | 200 W |
|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N. I.<br>40 - 49 J.   | $\bar{x}$ | 71,3  | 111,5 | 130,2 | 146,4 | 158,7 |
|                       | n         | 49    | 49    | 49    | 46    | 12    |
|                       | s         | 8,92  | 10,79 | 13,60 | 15,16 | 10,29 |
| S. III.<br>40 - 49 J. | $\bar{x}$ | 69,8  | 107,8 | 120,0 | 141,3 | 154,9 |
|                       | n         | 37    | 37    | 37    | 35    | 19    |
|                       | s         | 9,20  | 10,66 | 12,45 | 14,80 | 12,42 |
|                       | t         | 0,761 | 1,581 | 3,591 | 1,518 | 1,502 |
| N. II.<br>50 - 59 J.  | $\bar{x}$ | 71,0  | 111,0 | 130,8 | 146,7 |       |
|                       | n         | 31    | 31,1  | 31    | 19    |       |
|                       | s         | 8,70  | 12,16 | 14,87 | 12,71 |       |
| S. IV.<br>50 - 59 J.  | $\bar{x}$ | 66,2  | 106,8 | 123,8 | 137,3 | 146,0 |
|                       | n         | 26    | 26    | 26    | 21    | 10    |
|                       | s         | 8,80  | 14,02 | 17,23 | 15,08 | 11,19 |
|                       | t         | 1,856 | 1,222 | 1,699 | 2,126 |       |
|                       | P         | Ø     | Ø     | Ø     | +     |       |

Tab. 3: Sauerstoffpuls bei Normalpers. (N) und Sportlern (S) in Ruhe und während Belastung. Mittelwert  $\bar{x}$ , Streuung s, t - Verteilung und Signifikanzberechnung.

|                       |           | Ruhe  | 80 W  | 120 W | 160 W | 200 W |
|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N. I.<br>40 - 49 J.   | $\bar{x}$ | 3,79  | 11,05 | 12,34 | 13,56 | 14,20 |
|                       | n         | 49    | 49    | 49    | 46    | 12    |
|                       | s         | 0,95  | 1,28  | 1,42  | 1,55  | 1,61  |
| S. III.<br>40 - 49 J. | $\bar{x}$ | 4,42  | 11,43 | 12,95 | 14,17 | 15,09 |
|                       | n         | 37    | 37    | 37    | 35    | 19    |
|                       | s         | 0,98  | 1,57  | 1,50  | 1,74  | 1,10  |
|                       | t         | 3,118 | 1,226 | 1,918 | 1,378 | 1,677 |
|                       | P         | ++    | Ø     | Ø     | Ø     | Ø     |

Fortsetzg. Tab. 3

|            |           | Ruhe  | 80 W  | 120 W | 160 W | 200 W |
|------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | $\bar{x}$ | 3,70  | 10,74 | 12,16 | 12,95 |       |
| N. II.     | n         | 31    | 31    | 31    | 19    |       |
| 50 - 59 J. | s         | 0,80  | 1,14  | 1,13  | 1,35  |       |
|            | $\bar{x}$ | 4,31  | 11,17 | 13,04 | 14,32 | 16,10 |
| S. IV.     | n         | 26    | 26    | 26    | 21    | 10    |
| 50 - 59 J. | s         | 1,26  | 1,49  | 1,85  | 1,56  | 1,98  |
|            | t         | 2,235 | 1,243 | 2,200 | 2,854 |       |
|            | P         | +     | Ø     | +     | ++    |       |

Tab. 4: Mittelwerte der  $O_2$ -Aufnahme, Pulsfrequenz, des Sauerstoffpulses einschließlich des maximalen und des Herzvolumens bei 40 - 49jährigen Normalpersonen (N) und Sportlern (S). Gegenüberstellung von Übergewichtigen (A und AS) und Normalgewichtigen (N und S)

| 40 - 49 Jahre     |        | Ruhe | 80 W  | 120 W | 160 W | 200 W |
|-------------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
| A.                | n      | 20   | 20    | 20    | 20    | 6     |
| Alter: 42,3 J.    | $O_2$  | 245  | 1242  | 1604  | 2025  | 2328  |
| Gewicht: 85,0 kg  |        |      |       |       |       |       |
| Größe: 174,6 cm   | Puls   | 72,4 | 110,8 | 128,2 | 145,4 | 157,3 |
| Herzvol. 848 ccm  |        |      |       |       |       |       |
| $O_2P$ max. 14,14 | $O_2P$ | 3,75 | 11,32 | 12,68 | 14,04 | 14,50 |
| N.                | n      | 29   | 29    | 29    | 26    | 6     |
| Alter: 42,9 J.    | $O_2$  | 268  | 1138  | 1575  | 1917  | 2190  |
| Gewicht: 73,1 kg  |        |      |       |       |       |       |
| Größe: 180,6 cm   | Puls   | 70,6 | 112,0 | 131,6 | 147,2 | 160,0 |
| Herzvol. 781 ccm  |        |      |       |       |       |       |
| $O_2P$ max. 13,32 | $O_2P$ | 3,83 | 10,86 | 12,11 | 13,21 | 13,90 |
| AS.               | n      | 15   | 15    | 15    | 15    | 10    |
| Alter: 42,4 J.    | $O_2$  | 314  | 1228  | 1632  | 2005  | 2353  |
| Gewicht: 87,1 kg  |        |      |       |       |       |       |
| Größe: 176,2 cm   | Puls   | 69,1 | 104,8 | 120,3 | 138,7 | 155,6 |
| Herzvol. 848 ccm  |        |      |       |       |       |       |
| $O_2P$ max. 14,71 | $O_2P$ | 4,61 | 11,74 | 13,64 | 14,54 | 15,15 |
| S.                | n      | 22   | 22    | 22    | 20    | 9     |
| Alter: 44,7 J.    | $O_2$  | 297  | 1215  | 1556  | 1955  | 2291  |
| Gewicht: 75,3 kg  |        |      |       |       |       |       |
| Größe: 175,5 cm   | Puls   | 70,3 | 109,8 | 125,9 | 143,2 | 154,2 |
| Herzvol. 765 ccm  |        |      |       |       |       |       |
| $O_2P$ max. 13,81 | $O_2P$ | 4,29 | 11,22 | 12,47 | 13,88 | 15,02 |

Tab. 5: Mittelwerte der  $O_2$ -Aufnahme, Pulsfrequenz, des Sauerstoffpulses einschließlich des maximalen und des Herzvolumens bei 50 - 59jährigen Normalpersonen (N) und Sportlern (S).  
Gegenüberstellung von Übergewichtigen (A und AS) und Normgewichtigen (N u. S)

| 50 - 59 Jahre     |        | Ruhe | 80 W  | 120 W | 160 W | 200 W |
|-------------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
| A.                | n      | 14   | 14    | 14    | 10    |       |
| Alter: 54,5 J.    | $O_2$  | 260  | 1195  | 1563  | 1921  |       |
| Gewicht: 84,1 kg  |        |      |       |       |       |       |
| Größe: 173,9 cm   | Puls   | 70,9 | 109,4 | 127,9 | 145,6 |       |
| Herzvol. 795 ccm  |        |      |       |       |       |       |
| $O_2P$ max 12,91  | $O_2P$ | 3,78 | 10,97 | 12,51 | 13,28 |       |
| N.                | n      | 17   | 17    | 17    | 17    | 9     |
| Alter: 53,6 J.    | $O_2$  | 240  | 1175  | 1563  | 1861  |       |
| Gewicht: 74,3 kg  |        |      |       |       |       |       |
| Größe: 174,4 cm   | Puls   | 76,9 | 112,4 | 133,2 | 148,0 |       |
| Herzvol. 731 ccm  |        |      |       |       |       |       |
| $O_2P$ max. 12,23 | $O_2P$ | 3,63 | 10,55 | 11,88 | 12,61 |       |
| AS.               | n      | 12   | 12    | 12    | 9     | 3     |
| Alter: 54,4 J.    | $O_2$  | 285  | 1193  | 1587  | 1907  | 2145  |
| Gewicht: 85,1 kg  |        |      |       |       |       |       |
| Größe: 171,9 cm   | Puls   | 70,2 | 111,7 | 128,7 | 143,6 | 150,7 |
| Herzvol. 833 ccm  |        |      |       |       |       |       |
| $O_2P$ max. 12,89 | $O_2P$ | 3,97 | 10,79 | 12,43 | 13,28 | 14,17 |
| S.                | n      | 14   | 14    | 14    | 12    | 7     |
| Alter: 52,6 J.    | $O_2$  | 285  | 1178  | 1591  | 2008  | 2424  |
| Gewicht: 75,3 kg  |        |      |       |       |       |       |
| Größe: 177,8 cm   | Puls   | 63,7 | 102,7 | 119,4 | 132,7 | 144,0 |
| Herzvol. 859 ccm  |        |      |       |       |       |       |
| $O_2P$ max. 15,38 | $O_2P$ | 4,59 | 11,41 | 13,56 | 15,11 | 16,90 |

Tab. 6: Mittelwerte der Sauerstoffaufnahme, der Pulsfrequenz, des Sauerstoffpulses einschließlich des maximalen und des Herzvolumens bei 40 - 59jährigen Normalpersonen unter besonderer Berücksichtigung der Körpergröße.

| 40 - 59 Jahre               |                  | Ruhe | 80 W  | 120 W | 160 W | 200 W |
|-----------------------------|------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1. < 171 cm                 | n                | 18   | 18    | 18    | 13    | 2     |
| Alter: 47,8 J.              | O <sub>2</sub>   | 243  | 1175  | 1564  | 1947  | 2430  |
| Gewicht: 69,7 kg            |                  |      |       |       |       |       |
| Größe: 166,7 cm             | Puls             | 69,8 | 113,8 | 136,9 | 154,8 | 160,0 |
| Herzvol. 745 ccm            |                  |      |       |       |       |       |
| O <sub>2</sub> P max. 12,14 | O <sub>2</sub> P | 3,57 | 10,40 | 11,57 | 12,68 | 13,20 |
| 2. 171 - 179 cm             | n                | 47   | 47    | 47    | 39    | 8     |
| Alter: 47,1 J.              | O <sub>2</sub>   | 226  | 1211  | 1577  | 1936  | 2256  |
| Gewicht: 79,5 kg            |                  |      |       |       |       |       |
| Größe: 178,5 cm             | Puls             | 72,0 | 111,0 | 129,4 | 144,7 | 158,5 |
| Herzvol. 832 ccm            |                  |      |       |       |       |       |
| O <sub>2</sub> P max. 13,61 | O <sub>2</sub> P | 3,73 | 11,02 | 12,38 | 13,46 | 13,93 |
| 3. > 179 cm                 | n                | 15   | 15    | 15    | 13    | 2     |
| Alter: 46,0 J.              | O <sub>2</sub>   | 278  | 1233  | 1595  | 1957  | 2101  |
| Gewicht: 83,9 kg            |                  |      |       |       |       |       |
| Größe: 182,7 cm             | Puls             | 71,5 | 109,3 | 125,6 | 143,2 | 154,0 |
| Herzvol. 830 ccm            |                  |      |       |       |       |       |
| O <sub>2</sub> P max. 13,04 | O <sub>2</sub> P | 4,09 | 11,28 | 12,86 | 13,87 | 14,30 |

Tab. 7: Mittelwerte der Sauerstoffaufnahme, der Pulsfrequenz, des Sauerstoffpulses einschließlich des maximalen und des Herzvolumens bei 40 - 59jährigen Sportlern unter besonderer Berücksichtigung der Körpergröße

| 40 - 59 Jahre               |              |                  | Ruhe | 80 W  | 120 W | 160 W | 200 W       |
|-----------------------------|--------------|------------------|------|-------|-------|-------|-------------|
| 1.                          | 171 cm       | n                | 14   | 14    | 14    | 12    | 4           |
| Alter: 48,6 J.              |              | O <sub>2</sub>   | 283  | 1171  | 1556  | 1944  | 2199        |
| Gewicht: 72,5 kg            |              |                  |      |       |       |       |             |
| Größe: 166,0 cm             |              | Puls             | 70,0 | 110,9 | 130,0 | 149,0 | 162,0       |
| Herzvol. 763 ccm            |              |                  |      |       |       |       |             |
| O <sub>2</sub> P max. 12,83 |              | O <sub>2</sub> P | 4,09 | 10,65 | 12,03 | 13,07 | 13,80       |
| 2.                          | 171 - 179 cm | n                | 30   | 30    | 30    | 27    | 15          |
| Alter: 46,9 J.              |              | O <sub>2</sub>   | 288  | 1240  | 1585  | 1987  | 2335        |
| Gewicht: 75,5 kg            |              |                  |      |       |       |       |             |
| Größe: 174,8 cm             |              | Puls             | 67,7 | 107,6 | 119,8 | 138,9 | 152,5 152,5 |
| Herzvol. 808 ccm            |              |                  |      |       |       |       |             |
| O <sub>2</sub> P max. 13,61 |              | O <sub>2</sub> P | 4,39 | 11,59 | 13,00 | 14,32 | 15,39       |
| 3.                          | 179 cm       | n                | 19   | 19    | 19    | 17    | 10          |
| Alter: 48,3 J.              |              | O <sub>2</sub>   | 308  | 1219  | 1612  | 1981  | 2373        |
| Gewicht: 87,9 kg            |              |                  |      |       |       |       |             |
| Größe: 183,7 cm             |              | Puls             | 68,9 | 104,4 | 118,0 | 133,6 | 147,2       |
| Herzvol. 878 ccm            |              |                  |      |       |       |       |             |
| O <sub>2</sub> P max. 15,18 |              | O <sub>2</sub> P | 4,55 | 11,72 | 13,67 | 14,88 | 16,17       |

Tab. 8: Sauerstoffaufnahme, Pulsfrequenz, Sauerstoffpuls bei 40 - 59jährigen Sportlern mit (a) und ohne (B) Ausdauerleistungen.  
Mittelwert  $\bar{x}$ , Streuung s, t-Verteilung und Signifikanzberechnung.

| 40 - 59 Jahre    |                   | Ruhe  | 80 W  | 120 W | 160 W | 200 W |
|------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A.               | n                 | 18    | 18    | 18    | 18    | 11    |
| Alter: 47,7 J.   | $O_2$ : $\bar{x}$ | 311   | 1242  | 1610  | 2015  | 2423  |
| Gewicht: 79,6 kg |                   |       |       |       |       |       |
| Größe: 175,7 cm  | $\bar{x}$         | 65,6  | 105,1 | 120,0 | 139,6 | 153,5 |
|                  | Puls: s           | 6,45  | 9,55  | 10,89 | 15,21 | 15,83 |
|                  | $\bar{x}$         | 5,03  | 11,79 | 13,47 | 14,46 | 15,97 |
|                  | $O_2$ P: s        | 1,22  | 1,64  | 1,28  | 1,46  | 1,70  |
| B.               | n                 | 15    | 15    | 15    | 10    |       |
| Alter: 49,2 J.   | $O_2$ : $\bar{x}$ | 289   | 1181  | 1574  | 1949  |       |
| Gewicht: 77,9 kg |                   |       |       |       |       |       |
| Größe: 171,1 cm  | $\bar{x}$         | 72,7  | 117,6 | 137,6 | 155,6 |       |
|                  | Puls: s           | 6,31  | 10,86 | 11,20 | 8,10  |       |
|                  | $\bar{x}$         | 3,99  | 10,12 | 11,50 | 12,50 |       |
|                  | $O_2$ P: s        | 0,89  | 1,14  | 1,17  | 0,64  |       |
|                  | t                 | 3,183 | 3,521 | 4,607 | 3,118 |       |
|                  | Puls: p           | ++    | ++    | +++   | ++    |       |
|                  | t                 | 2,758 | 3,333 | 4,582 | 3,576 |       |
|                  | $O_2$ P: p        | ++    | ++    | +++   | ++    |       |

Tab. 9: Herzvolumen, max. Sauerstoffpuls und das Verhältnis Herzvolumen/Sauerstoffpuls bei 40 - 59jährigen normalen (N) und sporttreibenden (S) Männern.

Mittelwert  $\bar{x}$ , Streuung  $s$ , t-Verteilung und Signifikanzberechnung.

|               | HV        | O <sub>2</sub> max | HV<br>O <sub>2</sub> Ruhe | HV<br>O <sub>2</sub> 80 | HV<br>O <sub>2</sub> 120 | HV<br>O <sub>2</sub> 160 | HV<br>O <sub>2</sub> 200 | HV<br>O <sub>2</sub> max |
|---------------|-----------|--------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| N.            | n         | 49                 | 49                        | 49                      | 49                       | 46                       | 12                       | 49                       |
| 40 - 49 J.    | $\bar{x}$ | 808                | 225,3                     | 74,0                    | 66,2                     | 56,6                     | 58,9                     | 59,9                     |
|               | $s$       | 98,5               | 1,66                      |                         |                          |                          |                          |                          |
| S.            | n         | 36                 | 36                        | 36                      | 36                       | 34                       | 19                       | 36                       |
| 40 - 49 J.    | $\bar{x}$ | 800                | 186,9                     | 70,8                    | 62,3                     | 56,9                     | 54,4                     | 56,7                     |
|               | $s$       | 92,7               | 2,01                      |                         |                          |                          |                          |                          |
|               | t         | 0,408              | 1,598                     |                         |                          |                          |                          |                          |
|               | p         | $\emptyset$        | $\emptyset$               |                         |                          |                          |                          |                          |
| N. 50 - 59 J. | n         | 31                 | 31                        | 31                      | 31                       | 19                       |                          | 31                       |
|               | $\bar{x}$ | 760                | 215,9                     | 71,0                    | 63,0                     | 62,3                     |                          | 60,5                     |
|               | $s$       | 91,6               | 1,52                      |                         |                          |                          |                          |                          |
|               | n         | 25                 | 25                        | 25                      | 25                       | 20                       | 10                       | 25                       |
| S. 50 - 59 J. | $\bar{x}$ | 844                | 218,1                     | 77,1                    | 65,5                     | 58,5                     | 54,9                     | 60,5                     |
|               | $s$       | 144,3              | 2,56                      |                         |                          |                          |                          |                          |
|               | t         | 2,679              | 3,162                     |                         |                          |                          |                          |                          |
|               | p         | +                  | ++                        |                         |                          |                          |                          |                          |

Tab. 10: Herzvolumen,  $O_{2P_{\max}}$  und der Quotient  $HV/O_{2P_{\max}}$  bei Sportlern mit (A) und ohne (B) Ausdauerleistungen.  
Mittelwert  $\bar{x}$ , Streuung  $s$ , t-Verteilung und Signifikanzberechnung

|            |           | HV    | $O_{2P_{\max}}$ | $HV/O_{2P_{\max}}$ |
|------------|-----------|-------|-----------------|--------------------|
| A          | n         | 17    | 18              | 18                 |
|            | $\bar{x}$ | 850   | 14,98           | 56,7               |
|            | s         | 104,3 | 1,93            | 5,87               |
| B          | n         | 15    | 15              | 15                 |
|            | $\bar{x}$ | 783   | 11,80           | 66,7               |
|            | s         | 143,4 | 1,39            | 15,29              |
| 40 - 59 J. | t         | 1,775 | 5,336           | 2,494              |
|            | p         | Ø     | +++             | +                  |

Die  $O_2$ -Aufnahme zeigt für Normale und Sportler keinen nennenswerten Unterschied (Tabelle 1). Bei beiden Altersklassen beobachten wir für die Trainierten in den jeweils höchsten vergleichbaren Belastungsstufen eine etwas höhere  $O_2$ -Aufnahme, die sich zwischen 24 und 71 ccm bewegte. In den übrigen Wattstufen rücken die Werte noch enger aneinander. Eine Signifikanzberechnung wurde wegen der Geringfügigkeit des Unterschiedes angesichts der großen Streubreite nicht vorgenommen.

Der Vergleich der Pulsfrequenzen (Tabelle 2) ergibt bei den 40 - 49jährigen mit Ausnahme der 120 Wattbelastung, höchst signifikant, keine auffälligen Unterschiede.

Bei den Älteren finden wir nur bei 160 Watt eine statistisch gesicherte Abweichung.

Alle anderen Mittelwerte der Sportler liegen zwar unter denen der Nichtsportler, weisen aber in ihrem Unterschied eine Zufallswahrscheinlichkeit von mehr als 5 % auf.

Auch der Sauerstoffpuls (Tabelle 3 und Abbildung 1 und 2) liegt bei den Sportlern allgemein höher. Für die 40 - 49jährigen ergibt sich nur beim Ruhewert eine Signifikanz, während bei Belastung die Erhöhung nicht so groß ist, daß sie statistisch zu sichern war.

Bei den älteren Sportlern sind Ruhe-, 120- und besonders der 160-Wattwert signifikant erhöht, während dies bei 80 Watt nicht der Fall war.

Der maximale im "steady-state" erreichte Sauerstoffpuls weist bei den 40 - 49jährigen einen nur leichten, bei den 50 - 59jährigen aber einen merklich größeren Wert auf, so daß sich hier ein signifikanter Unterschied ergibt (Tab. 9).

Bei den Herzvolumina ergibt sich für die 40 - 49jährigen ein annähernd gleicher Wert. Bei den im Mittel erhöhten Sauerstoffpulsen der Sportler ergibt dies für den Quotienten Herzvolumen/Sauerstoffpuls in den einzelnen Belastungsstufen und für den Quotient  $HV/Q_{P_{max}^2}$ , auch als Herzleistungsquotient bezeichnet, niedere Werte der Sportler gegenüber den Nichtsportlern.

Bei den 50 - 59jährigen finden wir bei den Sportlern eine durchschnittliche Herzvergrößerung um 84 ccm (wahrscheinliche Signifikanz). Dies führt dazu, daß der Quotient Herzvolumen  $O_2$ -Puls trotz der erhöhten Sauerstoffpulse bis zu 120-Wattbelastung höher liegt als bei den Nichtsportlern, um bei 160 Watt unter deren Mittelwert abzusinken. Der Herzleistungsquotient ist in diesem Falle gleich (Tab. 9).

Die Berücksichtigung des Gewichtes (Tab. 4) und die Unterteilung norm- bzw. übergewichtig zeigt uns bei Betrachtung der Mittelwerte für die 40 - 49jährigen übergewichtigen Nichtsportler mit Ausnahme des Ruhewertes eine geringfügig erhöhte  $O_2$ -Aufnahme und eine nicht sehr auffällige Senkung der Pulsfrequenzen gegenüber dem normgewichtigen Gleichaltrigen. Beide Faktoren zusammen ergeben einen erhöhten  $O_2$ -Puls, der zwar nicht sehr bedeutend, aber durchaus als Unterschied aufgefaßt werden kann, zumal wenn man berücksichtigt, daß es sich bei den

Normgewichtigen um relativ große Versuchspersonen handelte. Auch der maximale  $O_2$ -Puls weist für die Adipösen einen erhöhten Wert auf, genauso wie das Herzvolumen dieser Gruppe im Durchschnitt um 67 ccm größer ist.

Das Gleiche beobachtet man auch bei den Sportlern. Hier ergeben sich bei gleicher Körpergröße schon in Ruhe und dann auch bei Belastung erhöhte Werte für  $O_2$ -Aufnahme,  $O_2$ -Puls, maximalen  $O_2$ -Puls und Herzvolumen bei einer Erniedrigung der Pulsfrequenz. Der Grad der einzelnen Unterschiede ist gleich denen der Nichtsportler.

Vergleicht man nun übergewichtige Normale und Sportler und normgewichtige Nichtsportler und Trainierte, so ergibt sich bei mährd gleichen Herzvolumina hauptsächlich geringvermehrte  $O_2$ -Aufnahmen, erniedrigte Pulsfrequenzen und erhöhte  $O_2$ -Pulse für Ruhe- und Belastungswerte bei den Sportlern.

Bei den 50 - 59-jährigen sind diese Beziehungen nicht mehr so klar (Tabelle 5). Für die übergewichtigen Nichtsportler findet man wieder erhöhte  $O_2$ -Aufnahme (mit Ausnahme der 160-Wattstufe) erniedrigte Pulsfrequenzen, erhöhte  $O_2$ -Pulse einschließlich des maximalen und ein um 64 ccm vergrößertes Herz gegenüber ihren normgewichtigen Kollegen.

Bei den Sportlern dieser Altersklasse finden wir den umgekehrten Unterschied. Hier ist die  $O_2$ -Aufnahme bis zu 120-Wattbelastung praktisch gleich, liegt aber dann für die Normgewichtigen höher. Die Pulsfrequenzen liegen für diese zum Teil sehr deutlich unter denen der Übergewichtigen. Genauso auffällig ist auch der Unterschied zwischen den  $O_2$ -Pulsen einschließlich des maximalen; bei den Normgewichtigen sind diese größer. Deren Herzvolumen liegt auch um 26 ccm höher. Auch leisten noch 56 % eine Belastung von 200 W gegenüber 25 % der Übergewichtigen. Daraus ergibt sich, daß sich in diesem Fall die übergewichtigen Sportler von den übergewichtigen Nichtsportlern zum Teil keine oder nur geringe Unterschiede hat zur einen, mal zur anderen Seite hin zeigen. Die normgewichtigen Sportler aber eine zwar nur gering vermehrte  $O_2$ -Aufnahme, dafür aber erheblich verminderte Pulsfrequenzen und zum Teil deutlich erhöhte  $O_2$ -Pulse aufweisen. Auch  $O_2$ -Puls max. und Herzvolumen erweisen sich für die Sportler vergrößert.

Betrachtet man den Einfluß der Körpergröße auf die einzelnen Faktoren (Tabelle 6 für Normalpersonen), so findet man bei antelproport Körpergröße grundsätzlich eine gering vermehrte  $O_2$ -Aufnahme bei allen Leistungen. Auch das Gewicht ist entgegengesetzt liegen mit Ausnahme des 160-Wertes die Pulsfrequenzen. Die Unterschiede treten hier besonders bei steigender Belastung deutlicher hervor. Die  $O_2$ -Pulse steigen wiederum parallel zur Körpergröße; auch hier werden die Unterschiede in höheren Belastungsstufen auffälliger. Das Herzvolumen der Kleinen liegt niedriger als der beiden anderen Gruppen, deren Herz trotz der unterschiedlichen Körpergröße gleich groß ist. Für die mittlere Körpergröße ergibt

sich sogar ein erhöhter maximaler  $O_2$ -Puls gegenüber den Großen.

Die gleichen Beziehungen finden wir bei den Sportlern (Tabelle 7). Bei gering vermehrter  $O_2$ -Aufnahme sind hier die Unterschiede im Bezug auf Puls und Sauerstoffpuls bei ansteigender Belastung mit zunehmender Körpergröße noch deutlicher. Auch maximaler  $O_2$ -Puls und Herzvolumen steigen hier parallel mit der Körpergröße.

Vergleicht man nun gleichgroße Sportler mit Nichtsportlern, so finden wir wiederum bei allen Gruppen zum Teil geringe aber auch deutliche Unterschiede, die zu Gunsten der Sportler fallen:  $O_2$ -Aufnahme vermehrt, Pulse erniedrigt,  $O_2$ -Pulse erhöht und Herzvolumina leicht erhöht (mit Ausnahme von mittelgroßen Sportlern). Vergleicht man aber kleine Sportler mit großen Nichtsportlern, so findet man für die Sportler höhere Pulsfrequenzen mit ansteigender Belastung und einem erniedrigten  $O_2$ -Puls, der durch die geringere  $O_2$ -Aufnahme noch einen kleineren Wert annimmt als es dem Unterschied der Frequenzen entspräche. Bei verschiedenen Herzvolumina ist der maximale  $O_2$ -Puls fast gleich.

Bei dem Vergleich der Sportler mit (A) und ohne (B) Ausdauerleistungen, (Tabelle 8), müssen wir wieder auf die Vergleichbarkeit im Bezug auf Alter, Gewicht und Größe achten. Die hier gefundenen geringfügigen Unterschiede sind aber wohl nur im kleinen Maße für die zum Teil sehr verschiedenen Meßwerte verantwortlich zu machen.

Auch hier zuerst eine Betrachtung der erreichten Leistungsstufen. Von den Sportlern der Gruppe A bewältigten alle eine Belastung von 160 Watt und 61,1 % noch die 200 Wattstufe, während von der Gruppe B nur 1/3 160 Watt und keiner mehr 200 Watt zu leisten imstande war.

Bei der  $O_2$ -Aufnahme ergibt sich ein geringer Unterschied darin, daß die Person der Gruppe A eine etwas erhöhte  $O_2$ -Aufnahme gegenüber den Vergleichspersonen haben, was eine Folge des höheren Gewichtes und der Körpergröße sein wird.

Die Pulsfrequenz der "Bewegungssportler" liegt aber deutlich unter den der "Gymnastiktreibenden" und zwar ergibt sich für alle Meßwerte ein signifikanter, für den 120 Wattwert sogar ein höchst signifikanter Unterschied.

Liegt der Puls bei der Gruppe A deutlich niedriger, so findet man für den  $O_2$ -Puls auffällig höhere Werte, für die sich die gleichen Signifikanzen auf den einzelnen Belastungsstufen ergeben wie beim Puls. (Abbildung 3)

Auch der maximale Sauerstoffpuls liegt bei den Sportlern der Gruppe A deutlich höher und weist zum Mittelwert der Gruppe B einen gesicherten Unterschied auf (höchste Signifikanz).

Obwohl das Herzvolumen von A einen höheren Wert aufweist (keine Signifikanz), liegt der Herzleistungsquotient wesentlich niedriger als der von B, da der maximale  $O_2$ -Puls von A deutlich größer ist (Tabelle 10).

## E. DISKUSSION

Der Sinn des Trainings liegt einmal in der Erschließung von Leistungsbereichen, die sonst nicht zugänglich sind, aber auch in einer Verbesserung der Ökonomie und des Wirkungsgrades bei jeder Belastung sowie einem schnelleren Erholtsein.

Wir untersuchten nur die beiden ersten Kriterien.

Ein vergrößertes Leistungsvermögen ausgedrückt in einer erhöhten Belastbarkeit unter Ergotasebedingungen fanden wir bei vielen Sportlern. In der Altersgruppe 40 - 49 Jahre war dieser Unterschied nicht so auffällig wie bei den älteren, von denen noch gut 1/3 der Sportler eine Arbeit zu leisten imstande war, die keiner von den Nichtsportlern mehr erreichte.

Wir fanden also den oben angeführten Satz zum Teil bestätigt und konnten gleichzeitig feststellen, daß sportliche Betätigung den durch das Alter bedingten Leistungsabfall aufhalten kann.

Weitere Aussagemöglichkeiten geben uns die einzelnen Faktoren. Die  $O_2$ -Aufnahme verhält sich proportional zur vollbrachten Leistung. Sie ist ein Maßstab für die aerob entwickelte Energie und gibt auch Aufschluß über die Belastung der sauerstofftransportierenden Organe (ASTRAND, 1, 2), wenig aber über ihr Leistungsvermögen im einzelnen, da zu viele Faktoren mitwirken.

Das Aufnahmevermögen des Sauerstoffs hängt im wesentlichen ab vom Ausmaß der Lungenventilation, der respiratorischen Oberfläche der Lunge, den oxydativen Prozessen im Gesamtorganismus, der Größe des Herzminutenvolumens und der Utilisation des Blutes in der Peripherie.

Der Trainierte braucht weniger Sauerstoff für Leistungen, bei denen es auf Koordination und Bewegungstechnik ankommt (LILJESTRAND und LINDHARDT, KNOLL, DURING, 18). Bei der Ergometer-Arbeit ergeben sich aber keine solchen Unterschiede, da auch der Sportler für diese Art der Belastung nicht trainiert ist. Falls es doch zu einer geringeren  $O_2$ -Aufnahme bei gleicher Belastung kommen würde, so müßte man eine geringere Herz- und Atemarbeit annehmen. REINDELL, KIRCHHOFF und GEBAUER (27) fanden bei Trainierten eine etwas geringere  $O_2$ -Aufnahme, die aber wegen der Fehlerbreite der Methode nicht als funktionsbedingt aufgefaßt werden kann.

Wir hingegen stellten bei all unseren Sportlern eher eine gering erhöhte Sauerstoffaufnahme fest, die wegen ihrer Geringfügigkeit auch nicht statistisch zu sichern ist. Wir glauben, daß die etwas unterschiedlichen Körpermaße hierfür verantwortlich sind, denn wir finden sowohl bei den Übergewichtigen und den größeren Sportlern als auch bei den Nichtsportlern dieser Einteilung eine vermehrte  $O_2$ -Aufnahme. Eine Erhöhung der Stoffwechselvorgänge bei einem großen

oder schweren Menschen muß auch eine vermehrte Sauerstoffaufnahme zur Folge haben.

Diese Beziehung gilt sowohl für Sportler als auch für Nichtsportler. Es ist hier offenbar so, daß der  $O_2$ -Bedarf des vermehrt angelegten Gewebes und der größeren bewegten Muskel- oder Fettmasse ausschlaggebender für die  $O_2$ -Aufnahme sind als die sicherlich geringere Herz- und Atemarbeit, wie sie beim Sportler normalerweise zu finden ist. Dies beweist auch der Vergleich der Sportler mit und ohne Ausdauerleistungen. Hier finden wir bei den Starktrainierten eine höhere  $O_2$ -Aufnahme, obwohl eine augenscheinlich verbesserte Ökonomie der Herzkreislaufarbeit vorliegt.

Wir glauben auch, daß hier wieder Körpergröße und Gewicht für die  $O_2$ -Aufnahme verantwortlich sind und daß der Ökonomiegewinn kaum eine Bedeutung hat, denn dann wäre bei dem relativ kleinen Unterschied der Körpergröße und dem recht bedeutenden bezüglich der Kreislauf- und Herzarbeit zumindest eine gleichgroße  $O_2$ -Aufnahme zu erwarten.

Einen weitaus bedeutenderen Hinweis auf Leistungsfähigkeit und Ökonomie gibt uns die Pulsfrequenz. Man kann sie mit Einschränkung als Maß für die Herz- und Kreislauf-funktionsfähigkeit ansehen. Wir können die volle dynamische Zirkulation und ihre Leistungsfähigkeit gut anhand der Ruhefrequenz voraussagen, da jetzt die Haupt-pumpen, die tätige Muskulatur, inaktiv sind. Lassen wir nun arbeiten, so steigt mit erhöhtem  $O_2$ -Bedarf des Organismus das Herzminutenvolumen. Die Zunahme des Minutenvolumens verläuft nicht geradlinig, sondern bei weiter erhöhter  $O_2$ -Aufnahme steigt das HMV geringer an (ASTRAND 1, 2). Als Maß für die Herzminuten-volumen-Steigerung haben wir Puls und Schlagvolumen. Der Anstieg des Pulses erfolgt geradlinig, während das Schlagvolumen nach ASTRAND (1, 2) dann schon maximale Werte erreicht, wenn erst 40 % der maximalen  $O_2$ -Aufnahme benötigt wurden. Die Pulsfrequenz lag dann bei 115 /Min.

Wir finden nun bei den Sportlern in Ruhe und Belastung niedere Werte für die Puls-frequenzen, was sicherlich als Ökonomiegewinn angesehen werden kann.

Es kommt so auch zu einer Erhöhung der Leistungsgrenze durch ein späteres Erreichen der maximalen Herzschlagfrequenz, denn diese ist der eigentlich begrenzende Faktor, weil es oberhalb dieser durch das Mißverhältnis zwischen  $O_2$ -Bedarf und Transportvermögen schnell zum Abbruch der Arbeit kommt. Eine trainingsbedingte Verringerung der Pulsfrequenz beruht meistens auf einem erhöhten Schlagvolumen. Aber auch ein verändertes Herzminutenvolumen oder eine geänderte Verteilung des Minutenvolumens können die Ursache sein (ASTRAND, 2).

Ein niedriger Puls ist aber die Antwort auf eine Erhöhung der Kapazität des  $O_2$ -Transports in den arbeitenden Muskeln. Sicherlich spielt hierbei auch die arterio-venöse  $O_2$ -Differenz eine Rolle, zumal in höheren Belastungsstufen, wenn es zur Eröffnung der durch Training vermehrt angelegten Kapillaren kommt und somit

eine größere  $O_2$ -Ausschöpfung des Blutes erreicht wird.

Wir haben gesehen, daß zwischen Körpergröße und Gewicht und den Leistungsfaktoren eine Beziehung besteht. Es zeigte sich bei der Pulsfrequenz eine Erniedrigung mit ansteigender Körpergröße, sowohl bei Normalpersonen als auch bei Sportlern. Die gleiche physikalische Leistung erfordert eben eine unterschiedliche biologische, die ausschließlich von endogenen Faktoren abhängt, da die mechanischen Verhältnisse des Ergometers für alle gleich und die Einflüsse von Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Tageszeit etwa konstant waren. Der Vergleich von kleinen Sportlern mit großen Normalpersonen ergab für die Sportler mit ansteigender Belastung höhere Pulsfrequenzen. Es ist hier so, daß bei absolut gleicher Belastung auch der Sport, die durch konstitutionellen Faktoren bedingte geringere Leistungsfähigkeit nicht ausgleichen und daß der Nichtsportler mit der besseren Konstitution mit wirtschaftlicheren Pulsfrequenzen arbeitet. Eine gleiche Beziehung fand sich auch bei Berücksichtigung des Körpergewichtes: die Übergewichtigen weisen bei Normalpersonen und Sportlern geringere Pulsfrequenzen auf. Eine Ausnahme machen lediglich die 55- bis 59-jährigen Sportler, der Normalgewichtige erweist hier besser. Das etwas höhere Alter, die geringere Körpergröße und das leicht vergrößerte Herz konnten dafür verantwortlich sein.

Durch eine korrelative Betrachtung von  $O_2$ -Aufnahme und Pulsfrequenz können wir weitere Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit des Kreislaufs ziehen. Der  $O_2$ -Puls ist praktisch ein Indikator für die Transportleistung des Kreislaufs. Er ist abhängig von der Größe des Schlagvolumens, von der  $O_2$ -Sättigungsfähigkeit des Blutes und der arterio-venösen  $O_2$ -Differenz, wovon in Reihe und bei niederen Belastungsstufen fast ein konstanter  $O_2$ -Puls eine eindeutige Aussage über die Leistungsbreite der Kreislaute erkennen, während ein höherer Wert eine Steigerung anzeigen kann. Wenn man die  $O_2$ -Bindungsfähigkeit des Blutes für beide Gruppen gleich setzt, so muß der Sportler bei einem gegebenen  $O_2$ -Antrieb benötigt für eine Leistung relativ weniger  $O_2$  als der Normalgewichtige. Folglich sollte ein höheres Schlagvolumen bei beiden Frequenzregulierung ein mit der Annahme, daß der Normalgewichtige bei hohen Belastungen noch eine Überblutierung seiner  $O_2$ -Intensitäten kann und so zu einer weiteren Arbeitssteigerung bzw. zu größeren Leistungen gelangt, was REINDELL u. a. (30).

Der maximal im relativen  $O_2$ -Gehalte erreichbare Sauerstoffpuls ist ein Maß für die Ausdauerleistungsfähigkeit. Dieser gibt uns Auskunft über maximale Leistungsbreite von Herz und Kreislauf bei noch bewahrter Ökonomie.

In unserer Untersuchung fanden wir nun keine erheblichen Unterschiede zwischen Normalpersonen und Sportlern in den einzelnen Belastungsstufen mit Ausnahme bei 120 und 160 Watt bei den 55- bis 59-jährigen. Hier sorgten leichte Erhöhung

der  $O_2$ -Aufnahme und Pulsfrequenzerniedrigung für signifikant unterschiedliche Werte im Quotienten. Ähnliche Ergebnisse finden wir auch bei NÖCKER (23, 24), dessen Absolutwerte des Sauerstoffpulses für ältere Sportler nur wenig über den der Normalen liegen.

GRANATH (7) und Mitarbeiter bieten hierfür eine Erklärung an: Sie fanden durch Herzkatheteruntersuchungen im Alter ein geringeres Schlagvolumen sowohl in Ruhe als auch bei Belastung.

Es scheint also so, daß die Tätigkeit unserer Sportler diesen durch das Alter bedingten Leistungsabfall nur zum Teil kompensieren kann. Auch der maximale  $O_2$ -Puls, das Maß der Ausdauerleistungsfähigkeit, ist bei den 40 - 49jährigen kaum erhöht, während er aber für die Älteren deutlich größere Werte annimmt. Hier könnte das vergrößerte Herz eine Rolle spielen. REINDELL u. a. (26) konnten den Beweis erbringen, daß beim Sportherzen eine physiologische Herzvergrößerung mit erhöhter Leistungsfähigkeit vorliegt, die als Anpassungserscheinung an eine erhöhte körperliche Belastung zu werten ist.

Durch Bildung des Quotienten Herzvolumen und Sauerstoffpuls, der sich als sehr genaues Maß für den Funktionszustand des Herzens erwiesen hat, ergibt bei den 40 - 49jährigen Sportlern in Ruhe wie Belastung niedrigere Werte, während bei den 50 - 59jährigen Sportlern dieser Quotient bis 120 Watt in Folge des größeren Herzvolumens erhöht ist, um dann unter den der Nichtsportler abzusinken. Für den Herzleistungsquotienten finden wir folglich für die jüngeren Sportler einen erniedrigten Wert, während er bei den älteren für beide Gruppen gleich ist.

Auch hier zeigt sich bei Berücksichtigung von Körpergröße und Gewicht die gleichen Verhältnisse, die wir schon bei den Pulsfrequenzen herausgestellt haben, nämlich eine Erhöhung der Sauerstoffpulse in Ruhe und Belastung mit ansteigender Körpergröße und bei den Übergewichtigen, sowohl bei Sportlern als auch bei Nichtsportlern mit Ausnahme der übergewichtigen 50 - 59jährigen Sportler.

Betrachtet man bei diesen verschiedenen Gruppen einmal die Herzgröße, so erkennt man, daß dieser Leistungsfähigkeitsgewinn mit einer Herzvolumenzunahme parallel verläuft. Größeres Übergewicht und ansteigende Körpergröße bedingen auch eine Herzvolumenzunahme. Auch die Ausnahme der 50 - 59jährigen übergewichtigen Sportler läßt sich so erklären, denn bei diesen finden wir im Gegensatz zu den anderen Gruppen ein etwas erniedrigtes Herzvolumen gegenüber den Normalgewichtigen. Man könnte also sagen, daß allein das Herzvolumen für die Leistungsfähigkeit verantwortlich ist. Andererseits haben wir aber gesehen, daß trotz gleicher Herzvolumina bei Sportlern eine, wenn auch kaum zu sichernde Verbesserung hinsichtlich Ökonomie und Leistungsbreite zu erkennen ist, aber auch bei Normalpersonen bei ansteigender Körpergröße.

Hierfür scheint die durch das Training erworbene vegetativ trophotrope Einstellung, die Verstärkung der systolischen Kontraktionskraft des Herzens und die durch Neubildung von Kapillaren bessere  $O_2$ -Ausschöpfung des Blutes in der Peripherie verantwortlich zu sein.

Wenn wir bei unseren Sportlern nicht so eindeutige Unterschiede bei beiden Altersklassen in Ruhe und in den verschiedenen Belastungsstufen feststellen konnten (mit Ausnahme der 120 W. -Bl. bei den 40 - 49jährigen und mit Einschränkung bei den 50 - 59jährigen bei 160 Watt), wie sie in verschiedenen Untersuchungen gefunden wurden, so liegt es wohl daran, daß in diesen Arbeiten von anderen Voraussetzungen ausgegangen wurde. Diese fanden sich nicht so sehr in der Methode, sondern vielmehr in dem andersgearteten Untersuchungsgut.

MELLEROWICZ (20) wählte aus einem Untersuchungsgut von etwa 3000 Sportlern 107 der besttrainierten, davon 48 im Alter von 40 - 60 Jahren, die fast ausschließlich Sport mit Ausdauerleistungen betrieben. Er fand für die 40 - 60jährigen z.B. eine Ruhepulsfrequenz von 51/min.

HOLLMANN (10) hat nur 11 Versuchspersonen mit einem Durchschnittsalter von 56 Jahren zur Verfügung. Diese 11 waren ehemalige Hochleistungssportler, die auch heute noch Sport treiben. Sie konnten trotz ihres deutlich verbessert gefundenen Unterschiedes in der Leistungsfähigkeit gegenüber Normalen wegen der zu geringen Anzahl nicht statistisch ausgewertet werden.

BOGER (5) hingegen untersuchte 46 ehemalige Turner im Alter zwischen 50 und 90 Jahren, die heute noch einmal wöchentlich Gymnastik trieben. Hier wurde keine spiroergometrische, sondern eine klinische Untersuchung vorgenommen (Ruhepulsfrequenz 76,5 /min.).

Die anderen Arbeiten sind Nachuntersuchungen an ehemaligen Hochleistungssportlern, die heute nur zum Teil noch aktiv sind:

ROSKAMM, REINDELL (29) u. a. untersuchten 92 ehemalige Hochleistungssportler (47 Ruderer, 23 Radrennfahrer und 22 Langstreckenläufer). Von diesen trieb etwa noch die Hälfte Sport. Man fand für alle ein signifikant größeres Herzvolumen und einen signifikant erhöhten  $O_2$ -Puls max. als Maß der Ausdauerleistungsfähigkeit gegenüber gleichaltrigen Normalpersonen. Für die heute noch tätigen ehemaligen Hochleistungssportler waren diese Abweichungen bei Berücksichtigung der Körpermaße noch deutlicher.

Von den 19 ehemaligen Radrennfahrern, die HOLMGREN und STRANDELL (11) untersuchten, waren heute noch 6 etwas aktiv (Durchschnittsalter 49,5 Jahre). Man fand hier ein deutlich vergrößertes Herz und eine Erhöhung der Arbeitskapazität gegenüber Normalen, während die Beziehungen Herzgröße und Leistungsfähigkeit für die Sportler im Mittel um 22 % ungünstiger ausfiel. Darüber hinaus fanden sie noch bei 43 % pathologische EKG-Befunde.

FREY und CONDRAU (6) fanden bei ihrer klinischen Untersuchung an 26 ehemaligen Spitzenfahrern des Radsports nur wenig Herzhypertrophien und EKG-Befunde.

In unserer Arbeit hingegen wurde nicht nach dem höchstmöglichen und besten Trainingszustand ausgewählt und als Voraussetzung ehemaliger Hochleistungssportler verlangt, sondern vielmehr wurde in Verbindung mit einigen Münchner Vereinen heute noch tätige Sportler untersucht, die sich freiwillig nach Aufruf in Vereinszeitschrift oder nach Ankündigung vor ihren Übungsstunden meldeten. Es ergab sich so ein buntes Gemisch aller möglichen Sportarten und auch des Trainingszustandes, den diese in Bezug auf Qualität und Quantität ihre Ausübung hinterließen. Durch Erfragen einer Tätigkeitsanamnese und zum Teil durch Beobachtung der Trainingsstunden konnte ein genaues Bild gewonnen werden. Es wurden alle die ausgelassen, die weniger als zwei Wochestunden ihrem Sport nachgingen, und natürlich die mit pathologisch klinischen Befunden, soweit es anhand unserer Untersuchung gesagt werden konnte.

Es ist also nicht so, daß der ältere Sportler sich in jedem Fall deutlich von seinen nicht-sporttreibenden Altersgenossen unterscheidet, wie es für jüngere Altersklassen gefunden wurde, sondern, daß ein guter Teil von Nichtsportlern besser abschneidet als das Kollektiv der Sportler und umgekehrt, welches eben zur Nivellierung des Unterschiedes beiträgt. Das wiederum soll nicht heißen, daß einigen der Sport im Alter weniger nutzt oder sogar schadet, sondern daß sie den altersbedingten Leistungsabfall mit ihrem jetzigen Trainingsprogramm oder auf Grund ihrer Anlage, vielleicht aber auch beide Punkte zusammen, nicht besser aufhalten können.

Betrachten wir nun einmal die Sportler mit sehr unterschiedlichen Tätigkeitsmerkmalen, die sich weniger auf die Dauer als auf die Ausübung beziehen, so finden wir bei den Sportlern ohne Ausdauerleistungen, deren Training sich fast ausschließlich auf Kraft- und Schnelligkeitsübungen beschränkt, gegenüber den Sportlern mit Ausdauerleistungen für Pulsfrequenzen und  $O_2$ -Pulse deutlich erniedrigte Werte. Diese erst setzen in Kombination mit den beiden anderen Trainingsarten einen sicheren Reiz zur Verbesserung von Herz- und Kreislauffunktion, wie auch ASTRAND (1,2) und HOLLMANN (9,10) bestätigen.

Wenden wir uns nun einmal dem Herzvolumen dieser Personen zu, so finden wir bei den ausdauertrainierten Sportlern zwar auch ein vergrößertes Herz, welches allein aber zur Erklärung des Unterschiedes nicht ausreicht, da ähnliche Unterschiede bei anderen Betrachtungen nicht solche Leistungsfähigkeitsgewinne bewirkten. Hier helfen sicherlich auch die durch das intensive und bessere Training bedingte Verbesserung der Kreislauphosphorie, der Lunge und des Stoffwechsels mit. Dazu kommt dann sicherlich die Komponente der Konstitution, die auch in unserem Fall bei den Ausdauerleistungssportlern leicht verbessert erscheint.

Man kann also auch bei älteren Sportlern bei Berücksichtigung der Trainingsbedingungen recht erhebliche Unterschiede feststellen. Es gelang uns das aber nur durch

eine extreme Auslese. Wir finden so bei den Ausdauerleistungssportlern unsere 5 ehemaligen Hochleistungssportler bzw. die 2 Skilangläufer, die heute noch Wettkämpfe bestreiten. Nimmt man dazu noch die besonders gute Konstitution, die jeder einzelne sicher mitbringt, die im Kollektiv aber untergeht, so ergeben sich hinreichende Fehlermöglichkeiten.

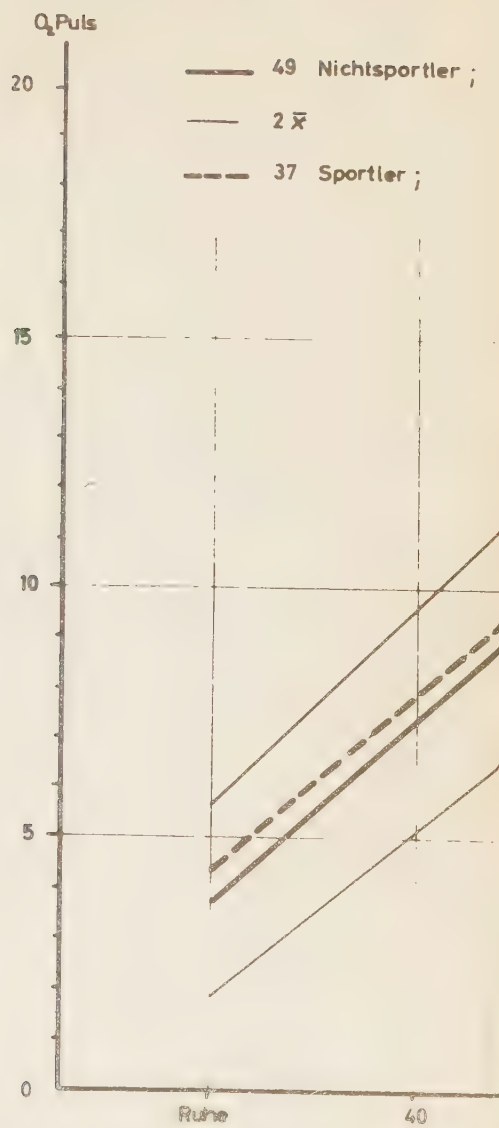
Obwohl man für die Faktoren der Leistungsfähigkeit von Herz- und Kreislauf  $O_2$ -Aufnahmen Pulsfrequenz und  $O_2$ -Puls die verschiedensten Möglichkeiten zur Erklärung heranzog, hat man die Beeinflussung durch die Konstitution nur wenig berücksichtigt.

Vielleicht würden die zum Teil oben diskutierten Erklärungen durch eine genaue Konstitutionsaufschlüsselung in ihrer Bedeutung zurückgedrängt. Dies könnte besonders beim Vergleich von Normalen mit Sportlern zutreffen, da diese sicherlich schon eine Auslese darstellen.

## F. ZUSAMMENFASSUNG

143 Versuchspersonen (80 Normale und 63 Sportler) im Alter von 40 - 59 Jahren wurden spiroergometrisch untersucht. Die Bestimmung der Sauerstoffaufnahme, der Pulsfrequenzen, der  $O_2$ -Pulse (in Ruhe und bei Belastung) und des Herzvolumens sowie eine gesonderte Berücksichtigung der Körpermaße wie Größe und Gewicht und der verschiedenen sportlichen Anstrengungen führte bei Vergleich von Normalpersonen und Sportlern zu folgenden Ergebnissen:

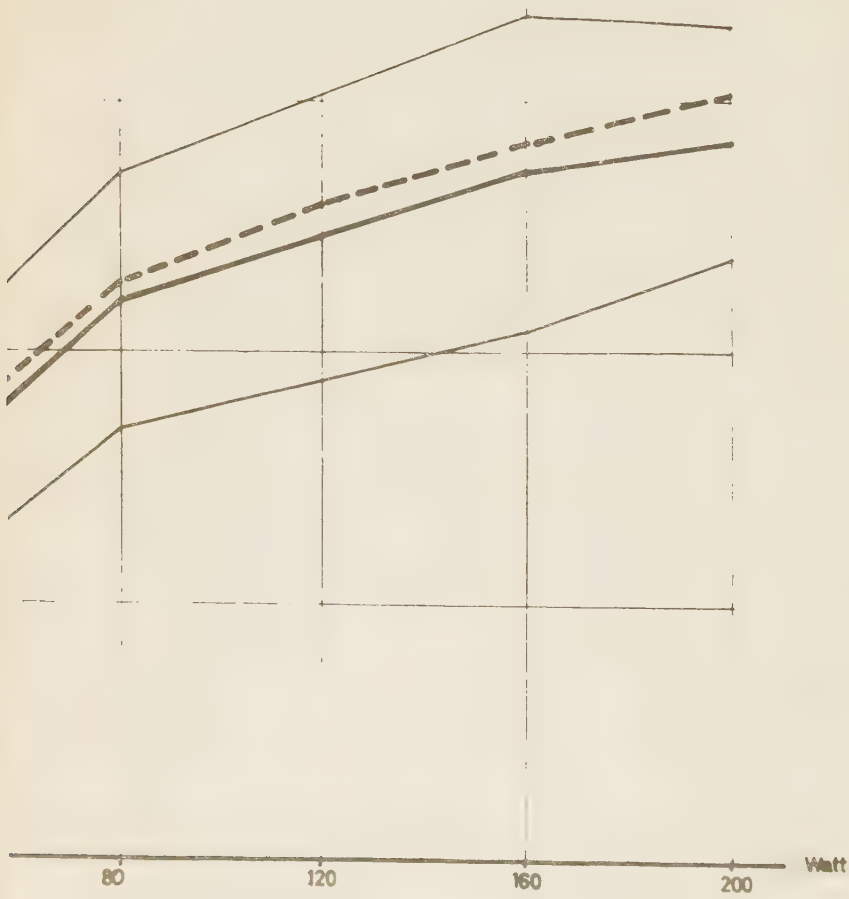
1. Der Unterschied zwischen Sportlern und Nichtsportlern liegt auch im mittleren Lebensalter in einer Zunahme der körperlichen Leistungsfähigkeit, welche sich durch eine Erweiterung der Belastungsgrenze und eine Erhöhung des maximalen  $O_2$ -Pulses widerspiegelte; zum andern finden wir einen Ökonomiegewinn der Herz- und Kreislauarbeit, die ihren Ausdruck in Pulsfrequenzerniedrigung und  $O_2$ -Pulserhöhung auf kleinen Belastungsstufen zeigt. Das Herzvolumen ist auch bei den älteren Sportlern größer als bei Normalpersonen. Alle diese Abweichungen waren nicht so deutlich wie sie für jüngere Altersklassen und auch zum Teil für ältere Sportler in anderen Arbeiten gefunden wurden. Wir machten hierfür die altersbedingten Veränderungen und besonders die Verschiedenheit des Untersuchungsguts verantwortlich.
2. Der Einfluß von Körpergröße und Gewicht besteht bei einer Zunahme einer oder beider Faktoren im allgemeinen in einer mäßigen Vergrößerung der  $O_2$ -Aufnahme, einer Pulsfrequenzerniedrigung und einer  $O_2$ -Pulserhöhung bei gleichzeitiger Zunahme des Herzvolumens. Die Beziehungen fanden sich jeweils für Normalpersonen und Sportler. Aber auch bei gleichem Herzvolumen zeigte sich bei Normalpersonen mit ansteigender Körpergröße mit gleichzeitiger Gewichtszunahme eine Erniedrigung der Pulsfrequenz und eine Erhöhung der Sauerstoffpulse.
3. Sportler mit Ausdauerübungen unterscheiden sich von denen mit etwa quantitativ gleicher Kraft und Schnellkrafttrainierung durch eine erhebliche Pulsfrequenzerniedrigung und  $O_2$ -Pulserhöhung einschließlich des maximalen. Das Herzvolumen der Sportler mit Ausdauerleistungen ist nicht so erheblich vergrößert wie es dem Gewinn der Leistungsfähigkeit entspräche.



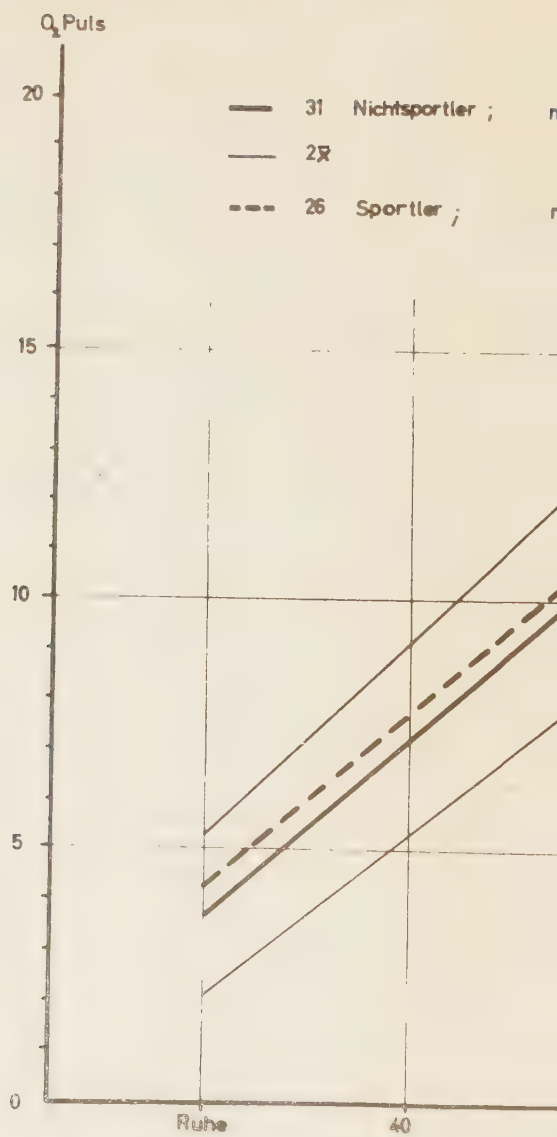
$Q_2$  Puls bei 40-49 jährig

max.  $O_2$  Puls 1365 ; HV 808 cm<sup>3</sup> ; HV/ $O_2$  Puls max. 599

max.  $O_2$  Puls 1428 ; HV 800 cm<sup>3</sup> ; HV/ $O_2$  Puls max. 567



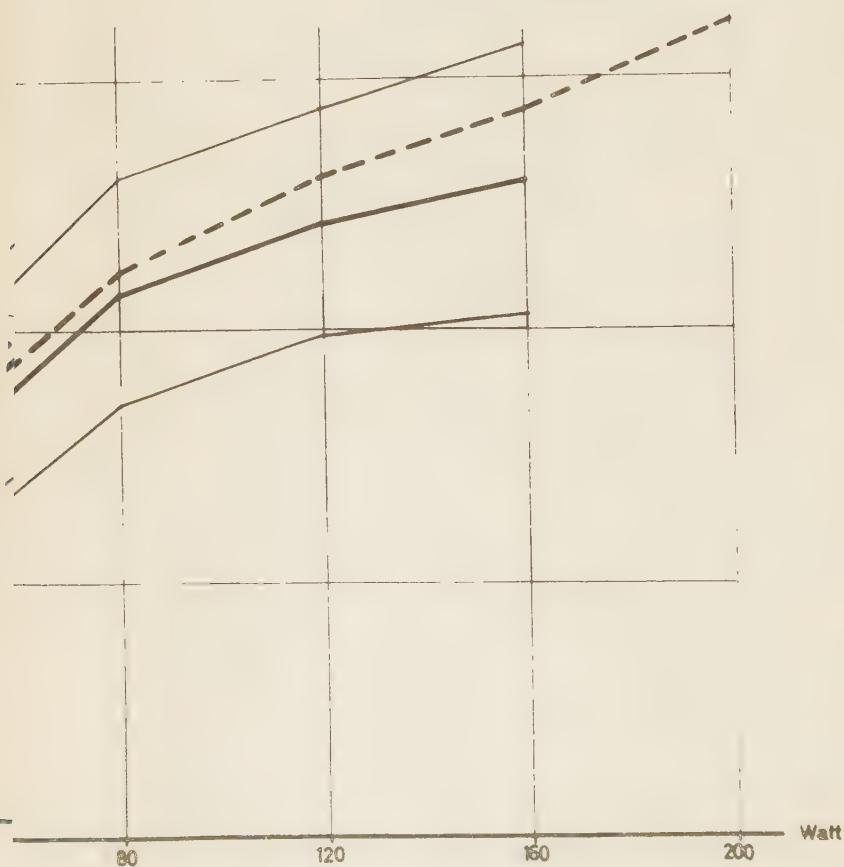
en Sportlern und nicht sporttreibenden Männern



$O_2$  Puls bei 50-59 jährigen

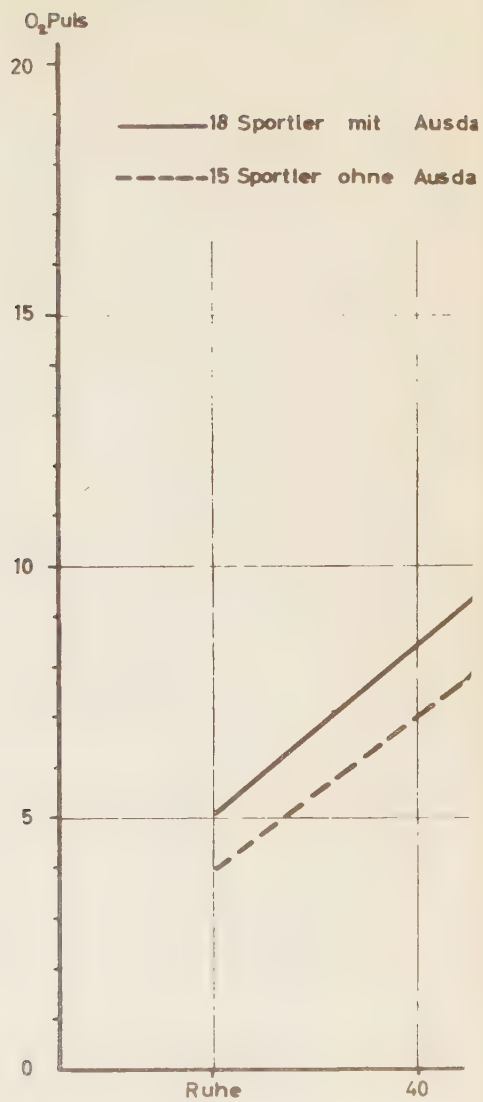
max.  $\dot{Q}_2$  Puls 12,53 ; HV 760 cm<sup>3</sup>;  $\dot{HVO}_2$  Puls max. 605 ;

max.  $\dot{O}_2$  Puls 14,26 ; HV 844 cm<sup>3</sup>;  $\dot{HVO}_2$  Puls max. 605 ;



BY

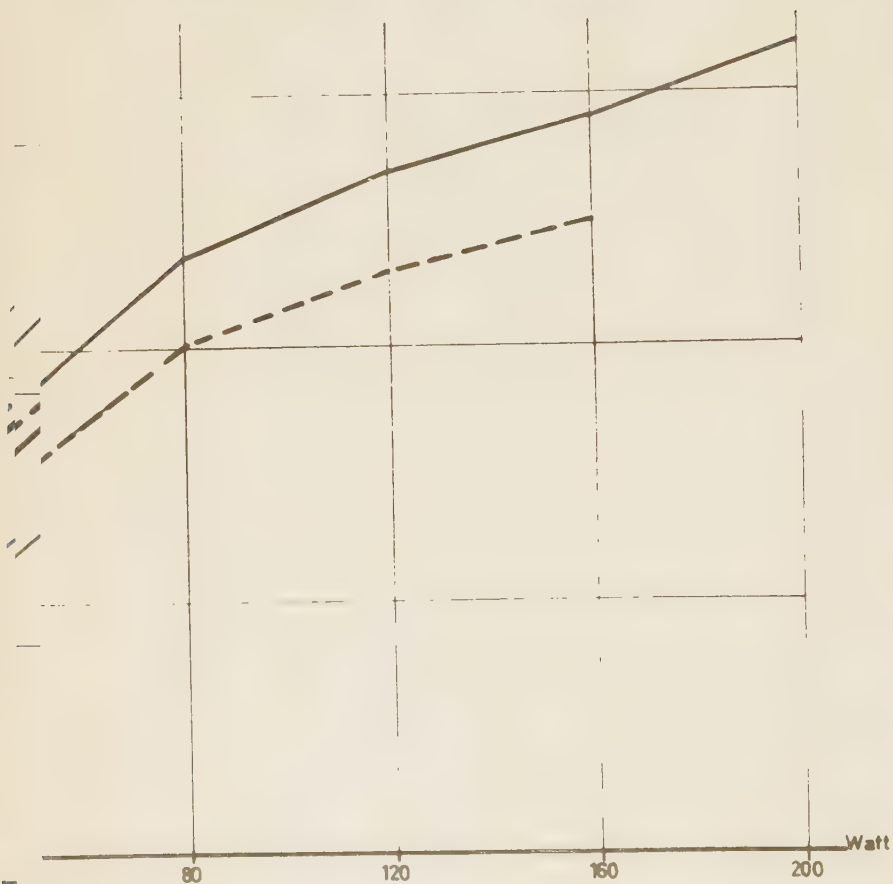
igen Sportlern und nicht sporttreibenden Männern



$O_2$  Puls bei

Leistungen ( Lauftraining , Tennis , Ballspiele )

Leistungen ( Gymnastik , Turnen , Sportkegeln )



er 40-59 jährigen Sportlern  
ig

Herrn Dr. Hans Schwalb möchte ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas, für die hilfsbereite Unterstützung und freundliche Beratung danken.

Herrn Prof. Dr. G. Schimert gilt mein Dank, daß ich an seinem Institut die zu dieser Arbeit notwendigen Untersuchungen durchführen durfte.

Herrn Dr. Eberl danke ich für die Überlassung der Herzvolumenbestimmung und Frau Gisela Meier für die Unterstützung bei den Untersuchungen.



## G. LITERATURVERZEICHNIS

1. ASTRAND, P.O. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Kopenhagen, Munksgaard, 1952.
2. ASTRAND, P.O. Sportphysiologie. Das Mediz. Prisma 6, 1964
3. BENGTSON, E. The working capacity in normal children, evaluated by sucmaximal exercise on the bicycle ergometer and compared with adults. Acta med. Scand. 154, 91 (1956).
4. BJÖRCK, G. On the relationship between the heart volume and various physical factors. Acta radiol. 25, 372 (1944).
5. BOGER, J. Medizinische Beobachtungen bei Alterssportlern. Sportmed. 9, 120 (1958)
6. FREY, U. und CONDRAU, J. Sportärztliche Untersuchungen an ehemaligen Radrennfahrern. Schweiz.med. Wschr. 82, 4 (1952).
7. GRANATH, A., JONSSON, B., STRANDELL, T. Studies on the central circulation at rest and during exercise in the supine and sitting body position in old men. Acta med. Scand. 169, 125 (1961).
8. HILL, A.V. Muscular Movement in Man, New York, Mc Graw-Hill, 1927
9. HOLLMANN, W. Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung. Darmstadt, Dietr. Steinkopf Verlag, 1959.
10. HOLLMANN, W. Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers. Barth Verlag, München, 1963.
11. HOLMGREN, A. und STRANDELL, T. The relationship between heart volume, total haemoglobin and physical working capacity in former athletes. Acta med. Scand. 163, 149 (1959).

12. KAHLSTORF, A. Über Korrelationen der linearen Herzmaße und des Herzvolumens. Wochenschr. 12, 262 (1933).
13. KAHLSTORF, A. Möglichkeiten und Ergebnisse röntgenologischer Herzvolumenbestimmung. Klin. Wschr. 17, 223 (1938).
14. KAHLSTORF, A. Über eine orthodiographische Herzvolumenbestimmung. Fortschr. Röntgenstr. 45, 369 (1932)
15. KJELLBERG, A.R., RUHDE and SJÖSTRAND, T. The relation of the cardial volume to the weight and the surface area of the body, the blood volume and the physical capacity of work. Acta radiol. 31, 113 (1949).
16. KÖNIG, K., REINDELL, H., Das Herzvolumen und die körperliche Leistungsfähigkeit bei 20 - 60jährigen gesunden Männern. MUSSHOFF, K., ROSKAMM, H., und KESSLER, M. Arch. Kreisl. - Forschg. 35, 37 (1961).
17. KNIPPING, H.W., BOLT, W., VALENTIN, H. und VENRATH, H. Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken. Enke-Verlag, Stuttgart, 1955.
18. LILJESTRAND, LINDHARDT, KNOLL und DURING zitiert n. Mellerowicz: Ergo metrie, 148, München-Berlin, Mrb. und Schwarzenberg, 1962
19. LYTHOGE, R.J. und PEREIRA, J. R. The pulse rate and oxygen intake during the early stages of recovery from severe exercise. Proc. Roy. Soc., London 98, 468 (1925).
20. MELLEROWICZ, H. Vergleichende Untersuchungen über das Ökonomieprinzip. I. Arch. Kreislau fforschung, 24, 70 (1956)
21. MELLEROWICZ, H. Ergometrie. München-Berlin, Urb. u. Schwarzenberg, 1962.
22. MUSSHOFF, C. u. REINDELL, H. Zur Röntgenuntersuchung des Herzens in horizontaler und vertikaler Körperstellung. 1. Mitt. Dtsch. med. Wschr. 81, 1001 (1956)  
2. Mitt. Dtsch. med. Wschr. 82, 1075 (1957)

23. NÖCKER, J. und BÖHLAU  
O<sub>2</sub>-Puls in Abhängigkeit vom Lebensalter. Verhandlg. dtsh. Ges. f. Kreislauf-forschg., 24, 225 (1958).
24. NÖCKER, J.  
Physiologie der Leibesübungen. Enke Verlag Stuttgart (1964).
25. REINDELL, H., ROSKAMM, H., KÖNIG, K. und KESSLER, G.  
Belastbarkeit des Kreislaufs beim reifen und alternden Menschen. (Sportmed., 12, 300, 1961.)
26. REINDELL, KLEPZIG, STEIN, MUSSHOF, ROSSKAMM und SCHILDGE  
Herz, Kreislaufkrankheiten und Sport. Barth Verlag München, 1960.
27. REINDELL, H., KIRCHHOFF, H. W., und GEBAUER  
Untersuchungen über Sauerstoffaufnahme, Kohlensäureabgabe, Atemminutenvolumen, Atemäquivalent und den respiratorischen Quotienten während körperlicher Belastung bei Normalpersonen und Hochleistungssportlern. Dtsch. Arch. klin. Med., 423, 1956.
28. ROHRER, F  
Volumenbestimmung von Körperhöhlen und Organen auf orthodiagraphischem Wege. Fortschr. Röntgenstr. 24, 285 (1916) (17).
29. ROSKAMM, H., REINDELL, H., WEISLEDER, H., KESSLER, G. und ALETTER, K.  
Zur Frage der Spätschäden nach intensivem Hochleistungssport. Med. Welt, 41, 2170 (1964).
30. ROSKAMM, H., REINDELL, H., MUSSHOF, K. und KÖNIG, K.  
Die Beziehungen zwischen Herzgröße und Leistungsfähigkeit bei männlichen und weibl. Sportlern im Vergleich zu männl. und weibl. Normalpersonen. Arch. für Kreislaufforschg. 35, 67 (1961).



## Lebenslauf

- 1940 30.5. geboren in Hamm (Westf.).  
Vater: Hans Wittenborg, Konditormeister,  
1943 in Rußland gefallen.  
Mutter: Gertrud Wittenborg, geb. Himmeldirk.
- 1947 Ostern Eintritt in die Volksschule in Werries bei Hamm.
- 1951 Ostern Eintritt in das Städtisch-math. -naturwiss. Gymnasium  
der Stadt Hamm.
- 1960 3.3. Reifeprüfung am obigen Gymnasium.
- 1960 Mai Beginn des Medizinstudiums an der Ludwig-  
Maximilians-Universität in München.
- 1961 25.4. Vorphysikum an der Universität München.
- 1962 24.7. Physikum an der Univ. München.
- 1962/63 Wintersemester Studium an der Universität Innsbruck.
- 1963 Sommersemester an der Univ. Hamburg.
- 1964 Weiterstudium in München an der Ludw. -Max. -  
Universität.
- 1966 8.2. Ablegung des medizinischen Staatsexamens.





